

KOSMOS

ERIK
BERTRAM
—
DOMINIKA
WYLEZALEK

Alles Zufall im All?

DAS GEHEIME
REZEPT DES
UNIVERSUMS



mit Illustrationen
von VÉRO MISCHITZ



ERIK BERTRAM UND
DOMINIKA WYLEZALEK

MIT ILLUSTRATIONEN VON
VÉRO MISCHITZ

Alles Zufall im All?

DAS GEHEIME
REZEPT DES
UNIVERSUMS

KOSMOS



Welches Thema dich auch begeistert - auf unsere Expertise kannst du dich verlassen. Und das schon seit über 200 Jahren.

Unser Anspruch ist es, dich mit wertvollem Rat zu begleiten, dich zu inspirieren und deinen Horizont zu erweitern.

BEGEISTERUNG DURCH KOMPETENZ

Unsere Autorinnen und Autoren vereinen professionelles Know-how mit großer Leidenschaft für ihre Themen.

WISSEN, DAS DICH WEITERBRINGT

Leicht verständlich, lebensnah und informativ für dich auf den Punkt gebracht.

SACHVERSTAND, DEN MAN SEHEN KANN

Mit aussagestarken Fotos, Zeichnungen und Grafiken werden Inhalte besonders anschaulich aufbereitet.

QUALITÄT FÜR HEUTE UND MORGEN

Dafür sorgen langlebige Verarbeitung und ressourcenschonende Produktion.

Du hast noch Fragen oder Anregungen?
Dann kontaktiere unsere Service-Hotline: 0711 25 29 58 70
Oder schreibe uns: kosmos.de/servicecenter

Inhalt

Prolog: Auf der Suche nach Antworten 4

Teil I: Die Quellen des Wissens 8

Gefangen in der Wüste 10

Das Universum im Computer 26

Das Tor zur Unendlichkeit 46

Teil II: Das frühe Universum 60

Und es ward Licht 62

Irgendwas ist schief 82

Geometrie mal anders 104

Kosmisches Finetuning 124

Teil III: Das späte Universum 146

Entstehung der Welteninseln 148

Die schlafende Galaxie 164

Zur richtigen Zeit am richtigen Ort 180

Raumschiff Erde 196

Epilog: Alles Zufall im All? 214

Danksagung 218

Quellen 219

Weiterführende Literatur 222

Bildnachweis und Impressum 223

Prolog

Auf der Suche nach Antworten

Wissen Sie, was ein „warmer Erpel“ ist? Und dass beim Genuss eines solchen, wenn man das so nennen kann, die Meinungen gewaltig auseinandergehen? Doch können wir Sie beruhigen, denn keiner männlichen Ente wird hierbei auch nur ein einziges Haar, geschweige denn eine Feder, gekrümmt. Ein warmer Erpel ist im Grunde ein starker Shot der ganz besonderen Art, eine Mischung aus Schnaps, Tabasco und wahrscheinlich noch ein paar anderen magischen Zutaten, die man gar nicht so genau kennen will, die einem zu später Stunde aber irgendwann auch egal sind. Das Gemisch wird dann noch unter großem Getöse angezündet und kann in der sehr authentischen Studentenbar Destille – einer unserer vielen Lieblingskneipen in der Heidelberger Altstadt – genossen werden. Ein absolutes Muss für jeden Studienanfänger!

Erfahrungen wie diese sammelten auch wir beide – Dominika und Erik – im Wintersemester 2007/08, als wir zusammen unser Physikstudium begannen. Morgens die ersten Vorlesungen zur Astronomie und Astrophysik, am Abend dann die x-te Kneipentour durch Heidelbergs berühmt-berüchtigte „Untere Straße“, ein kleines schnuckeliges Gässchen im Herzen der Altstadt, in der so mancher Student nach Mitternacht nicht mehr geradeaus gehen kann. Auf diese Weise lernt man zumindest seine Studienstadt ziemlich gut kennen.

Nun beschlossen wir einige warme Erpel später also, unser Studium gemeinsam zu bestreiten. Es war der Auftakt unserer Laufbahn in der Astrophysik. Unzählige Diskussionen über Gott, die Welt

und die Geheimnisse des Universums sollten folgen – Strategien zum Überleben der nächsten abendlichen Kneipentouren mit eingeschlossen.

Das Physikstudium war eine sehr lehrreiche, aber auch intensive Zeit. Die gemeinsamen Studienjahre vergingen wie im Flug, jedoch trennten sich schon bald unsere Wege. Dominika zog nach dem Studium nach England, danach ging sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in die USA, während Erik seiner Studienstadt Heidelberg treu blieb. Seit vielen Jahren teilen wir dennoch ein gemeinsames Ziel: Antworten auf die großen Fragen zu finden, die uns Menschen seit Urzeiten beschäftigen.

Zehn Jahre später treffen wir uns in einer kleinen gemütlichen Pizzeria in Heidelberg wieder, warme Erpel würden wir heute wahrscheinlich eh nicht mehr so gut vertragen. Dominika ist beobachtende Astrophysikerin, Erik theoretischer Astrophysiker geworden. Schnell können wir an frühere Gespräche anknüpfen: über die Irrren des Lebens und die Rätsel des Universums. Welche kosmischen Zufälle über die Jahrmilliarden wohl passieren müssen, damit sich eine Astrophysikerin und ein Astrophysiker beim Italiener Gedanken über ihre Existenz machen können? Viele Fragen schießen uns durch den Kopf, während wir unsere Pizza vertilgen – Erik schwört auf Pizza Diavolo, scharf und mit vielen Zwiebeln, Domi dagegen liebt Pizza mit viel Knoblauchöl – und in alten Studienerinnerungen an vergangene Kneipentouren schwelgen.

Die Geschichte des Universums ist in jedem Fall bemerkenswert. Wir leben in einem Kosmos, der perfekt auf unsere Bedürfnisse abgestimmt zu sein scheint. Kann das alles wirklich Zufall sein? Oder steckt dahinter vielleicht ein extrem ausgeklügelter Plan? Aber wo ein Plan ist, da muss auch ein intelligenter Planer sein, oder nicht? Kann unser Kosmos auf einen Schöpfer hindeuten?

Wir möchten Sie, verehrte Leserinnen und Leser, in diesem Buch mitnehmen auf einen Streifzug durch die Geschichte des Kosmos. Dabei wollen wir die unglaublichen Umstände ergründen, die zur

Entstehung des Universums, der Milchstraße sowie unseres blauen Planeten geführt haben – bis hin zu den ersten biologischen Lebensformen. Es sind Umstände, die einen zunächst völlig erstaunt zurücklassen und die jede Menge Fragen aufwerfen. Wir finden, dass die Geschichte des Universums sich manchmal sogar wie ein Märchen von den bekannten Gebrüdern Grimm liest, doch ob es ein Happy End gibt, das entscheidet jeder von uns selbst. Die Geschichte des Universums ist insofern auch eine Geschichte der Menschheit. Eine große Erfolgsstory?

Dieses Buch ist in drei Teile unterteilt, die Sie entweder der Reihe nach oder in beliebiger Reihenfolge lesen können.

In **TEIL I: DIE QUELLEN DES WISSENS** möchten wir Sie zunächst mitnehmen auf eine persönliche und unterhaltsame Reise durch die tägliche Arbeit einer beobachtenden Astronomin und eines theoretischen Astrophysikers. Wie gelangen wir eigentlich zu all den Erkenntnissen über das Universum? Während Dominika in lebhaften Erinnerungen über ihren letzten aufregenden Beobachtungstrip in die chilenische Atacamawüste schwelgt und beschreibt, welche Gefühle sie erst kürzlich beim Start des James Webb Space Telescope (kurz: JWST) überkamen, schildert Erik die Leiden eines Theoretikers, der sich sehnlichst wünscht, seinen (virtuellen) Kosmos endlich zum Leben zu erwecken.

In **TEIL II: DAS FRÜHE UNIVERSUM** soll es um die Frage gehen, wie das Universum scheinbar einfach so aus dem Nichts entstehen konnte. Bereits in den ersten Sekunden unserer kosmischen Geschichte wurden wichtige Weichen für die spätere Entwicklung gestellt. Doch wieso ist überhaupt etwas und nicht nichts? Und wie konnte ein solch „perfekter“ Kosmos das Licht der Welt erblicken?

In **TEIL III: DAS SPÄTE UNIVERSUM** beleuchten wir dann die Zeit, ab der das Universum „erwachsen“ wird. Nur rund 500 Millionen Jahre ver-

gingen vom Urknall bis zur Entstehung der ersten Sterne und Galaxien. Allerdings unterschieden sich diese zur damaligen Zeit noch deutlich von den Sternen und Galaxien, die heute unser Universum bevölkern. So waren die ersten Sterne zum Beispiel noch viel massereicher und kurzlebiger als die heutigen – keine guten Voraussetzungen, um dauerhaft ein stabiles Planetensystem zu beherbergen.

Und auch nicht jede Galaxie bot immer großartige Bedingungen. Denken Sie an manche Immobilie: Selbst auf dem Galaxienmarkt tummeln sich gute und weniger gute Objekte. Die einen mögen an einem tollen kosmischen Traumstrand liegen – mit grandiosen Temperaturen, toller Aussicht und einem Fünf-Sterne-Italiener wie dem unseren um die Ecke –, während andere selbst bei eBay-Kleinanzeigen noch nicht mal einen Abnehmer finden. Es sind die Looser-Galaxien, wo zwar die Kaltmiete billig ist, aber niemand so wirklich einziehen will. Und wer will schon sein ganzes Dasein in der Nähe kosmischer Kläranlagen fristen?

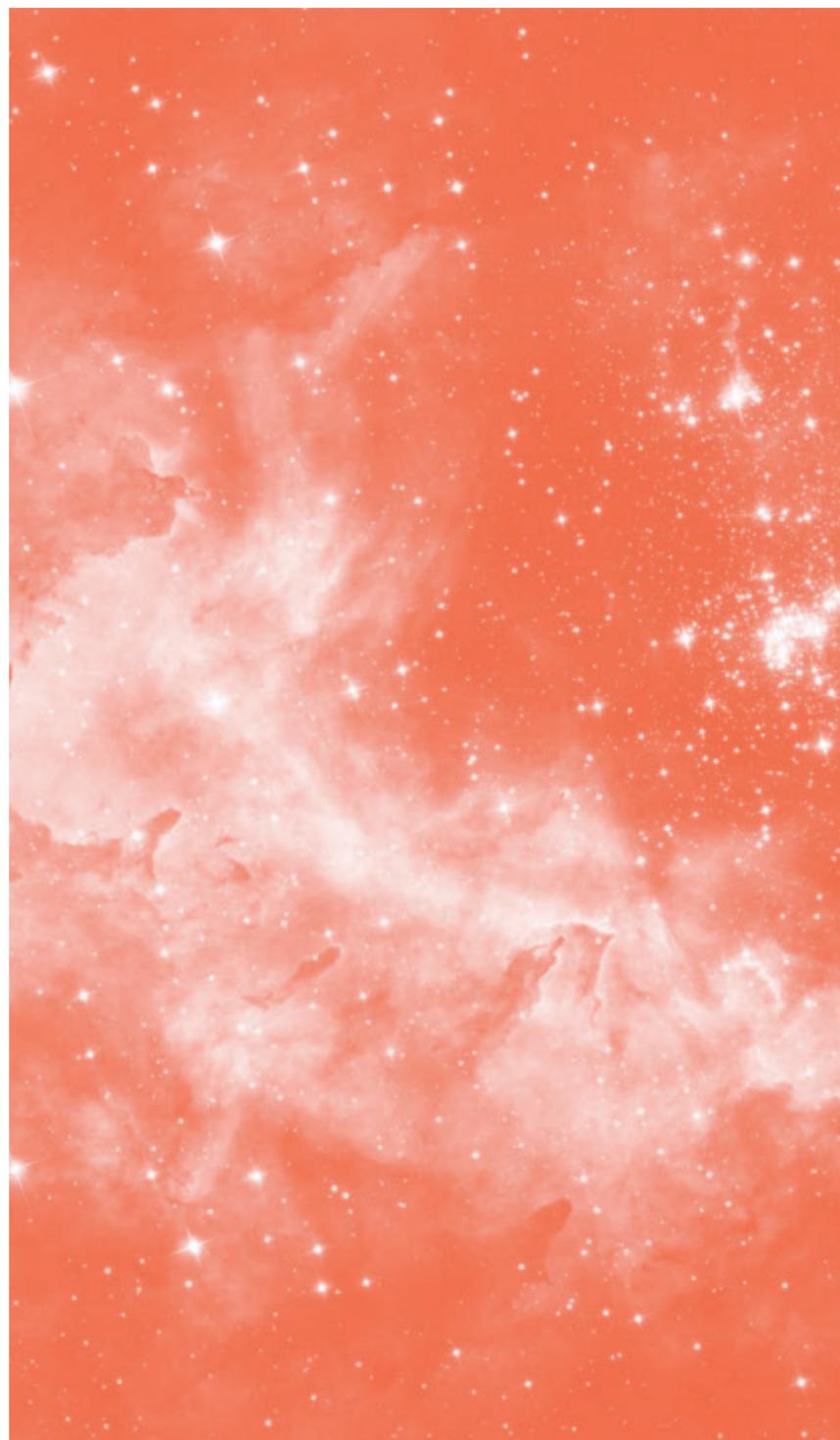
Erlauben Sie uns noch ein paar organisatorische Kommentare.

Wann immer es uns notwendig erschien, haben wir versucht, den Text mit entsprechenden Referenzen sowie weiterführender Literatur zu versehen, ohne dabei den Lesefluss zu stören.

Natürlich ist kein Text frei von Fehlern. Sollte sich an der ein oder anderen Stelle dennoch unerwartet der Fehlerteufel eingeschlichen haben, bitten wir um Entschuldigung, freuen uns jedoch über eine kurze Nachricht via E-Mail, Social Media oder Brieftaube.

Darüber hinaus müssen wir eine passende Auswahl an Themen treffen, wir wollen Sie schließlich nicht mit den ganzen Details langweilen. Wenn wir also manche Aspekte nur kurz oder gar nicht anreißen, sollte dies keinesfalls als Ignoranz gegenüber unseren Kolleginnen und Kollegen gewertet werden.

Begleiten Sie uns nun im ersten Teil auf unserer Reise durch die Welt der riesigen Teleskope sowie der logischen Bits und Bytes. Und während Sie umblättern, ordern wir derweil noch eine große Portion Tiramisu.



Teil I

Die Quellen des Wissens

Ohne den unbändigen Forscherdrang vieler Physikerinnen und Physiker auf der ganzen Welt würde unsere menschliche Spezies heute vermutlich noch in der wissenschaftlichen Steinzeit vor sich hin vegetieren. Egal ob Theoretiker oder Beobachter, Experimentatoren oder verkopfte Genies, sie alle haben ihren Teil zur Erforschung unseres Universums beigetragen. In diesem ersten Buchteil soll es um verschiedene wissenschaftliche Methoden gehen, die in der Astrophysik heutzutage eine breite Anwendung finden.

Beginnen möchten wir das erste Kapitel mit einigen spannenden Erkenntnissen aus der nicht ganz einfachen Arbeit einer beobachtenden Astronomin, die inmitten der chilenischen Atacamawüste ihr Glück bei einer ihrer Beobachtungskampagnen sucht. Das zweite Kapitel beschäftigt sich anschließend mit den Unwägbarkeiten der theoretischen Modellbildung im Computer, während das letzte Kapitel einen Ausblick gibt auf das, was die Öffentlichkeit in den kommenden Jahren erwarten wird: atemberaubende Bilder und neueste Daten vom weltberühmten Weltraumteleskop JWST.

Gefangen in der Wüste

Unser heutiges Wissen über das Universum stammt zum Großteil aus Beobachtungen des Nachthimmels. Vor ein paar hundert Jahren nur mit den eigenen Augen möglich, bauen wir heute riesige Teleskope, um auch das Licht der entferntesten Objekte im Universum einzufangen. Am besten geht das in der chilenischen Atacamawüste. Dominika nimmt Sie mit auf ihre persönliche Reise in die Wüste und sinniert über die Einsamkeit kalter Wüstennächte unter der Teleskopkuppel. Wie funktionieren Teleskope eigentlich und wie werden sie uns eines Tages verraten, warum es uns gibt?



HABEN SIE SCHON MAL EIN STEAK zum Frühstück gegessen? Nein? Ehrlich gesagt hätte ich auch nie gedacht, dass mir so etwas kurz nach dem Aufwachen schmecken würde, aber das tut es. Besonders, wenn man nachts arbeitet, tagsüber schlafen muss und mittags aufsteht. Wenn man nächtelang vor Bildschirmen sitzt, Koordinaten einstellt, den Luftfeuchtigkeitsmesser und die Windrichtung überprüft und mit einem Riesenteleskop in die Weiten des Universums blickt. Einem Riesenteleskop, das auf einem Gipfel ca. 2600 Meter über dem Meeresspiegel inmitten der chilenischen Atacamawüste erbaut wurde.

Die Szenerie ist mehr als surreal, denn weit und breit gibt es keine menschliche Siedlung. Genau deswegen wurde dieser spezielle Ort als Standort für das Teleskop ausgesucht. Nachts ist es extrem dunkel. Es regnet fast nie, der Himmel ist an mehr als 300 Tagen im Jahr wolkenlos. Die Luft ist so trocken, dass sich schon nach wenigen Tagen Aufenthalt kleine Schüppchen auf der Haut bilden. Dafür ist der Ausblick atemberaubend: Im Westen erstreckt sich der Ozean, die Weite der Anden im Osten.

An diesem abgelegenen Ort, wohin sich vielleicht einmal ein Wüstenfuchs verirrt, aber sonst nicht viel lebt und vegetiert, wurde ein riesiges Observatorium in die Wüste gestellt und Infrastruktur gebaut, sodass mehr als einhundert Menschen auf diesem Berg temporär wohnen und arbeiten können, Schlafräume, Kantine, Fitnessraum und Swimmingpool inklusive. Mitten in der Wüste. Und doch wird es abends, wenn die Sonne am Horizont über dem Pazifik untergeht und die ersten Sterne und Planeten am Himmel auftauchen, seltsam ruhig.

Die Nachtschicht arbeitet hochkonzentriert daran, die Kuppeln der Teleskope zu öffnen, die exakten Koordinaten herauszusuchen und mit der Arbeit zu beginnen. Eine Arbeit, die bedeutet, nachts hellwach zu sein, tagsüber zu schlafen und mit den größten Augen der Menschheit tief ins Universum zu blicken. Zu sehen, um zu verstehen. Eine solche Arbeit bringt so einiges durcheinander, und dann schmeckt auch ein Steak zum Frühstück.



Sternengucker

Wie Sie richtig kombiniert haben, bin ich beobachtende Astronomin. Ich arbeite täglich daran, Fragen zur Zusammensetzung, Entstehung und Entwicklung unseres Universums auf den Grund zu gehen. Der Sternenhimmel verbindet auf besondere Weise alle Menschen und Kulturen auf der Welt. Seit Tausenden von Jahren schauen wir zum Himmel hinauf und bewundern die geheimnisvolle Schönheit der Gestirne. Im Prinzip sind wir alle, Sie und ich, Astronominnen und Astronomen.

Sie mögen jetzt ungläubig den Kopf schütteln und insgeheim froh darüber sein, nicht fünf Jahre Physik studiert zu haben. Aber sicher haben Sie schon mal über mehrere Tage beobachtet, wie die Mondsichel erst ganz schmal erscheint, dann am nächsten Tag ein wenig dicker und noch dicker wird, bis sie irgendwann keine Sichel mehr, sondern ein Halbmond ist. Anschließend wird er immer breiter, bis nach 14 Tagen der Vollmond in seiner vollen Pracht erstrahlt.

Für Sie ist dies vielleicht nichts Besonderes mehr, weil wir heute wissen, dass der Mond eine Steinkugel ist, der von der Sonne angestrahlt wird und je nach Winkel mal als Sichel, Halbmond oder Vollmond erscheint. Aber zu irgendeinem Zeitpunkt wurden solche



Dieses Panorama wurde über dem Very Large Telescope (VLT) der ESO (European Southern Observatory) auf dem Cerro Paranal während der totalen Mondfinsternis vom 21. Dezember 2010 aufgenommen. Den rötlich verfinsterten Mond sieht man rechts im Bild, während sich das Band der Milchstraße über den gesamten Himmel zieht.

Beobachtungen zum ersten Mal von einem Menschen gemacht. Der Erkenntnisgewinn ist für uns deshalb von großer Bedeutung.

Wir besingen dies sogar im berühmten Schlaflied „Der Mond ist aufgegangen“, das ich meinen Kindern gerade jeden Abend zum Einschlafen vorsinge:

*Seht ihr den Mond dort stehen? –
Er ist nur halb zu sehen,
Und ist doch rund und schön!
So sind wohl manche Sachen,
Die wir getrost belachen,
Weil unsre Augen sie nicht sehn.*

Heute, im Jahr 2023, ist der Erkenntnisgewinn, den wir durch Beobachtungen mit unseren menschlichen Augen machen können,

allerdings überschaubar. Wir brauchen Daten von Teleskopen, weil unsere Augen nicht sensibel genug sind, um das Licht ferner Sterne, Galaxien und Haufen an Galaxien wahrzunehmen und aufzulösen.

Sie kennen sicherlich den „Großen Wagen“. Wussten Sie auch, dass der mittlere Deichselstern des Wagens eigentlich ein Doppelstern ist, also aus zwei benachbarten Sternen besteht? Wenn man genau hinsieht, kann man das mit bloßem Auge erkennen, und mit einem guten Fernglas ist der Doppelstern sogar deutlich erkennbar. Um also noch weiter als nur bis zu diesem Doppelstern sehen zu können, bauen wir uns riesige Teleskope aus Linsen und Spiegeln in die Wüste. Diese Systeme sammeln dabei Licht für uns ein, wobei gilt: Je größer, desto besser.

Dunkle Wüsten und einsame Berge

Die Teleskope in der chilenischen Atacamawüste gehören zu den größten Spiegelteleskopen der Welt. Sie sind vorrangig „optische“ Teleskope und funktionieren wie riesige Augen, die genau das Licht einfangen, das auch wir sehen können – nur eben viel besser. Diese bodengebundenen Teleskope befinden sich auf den Gipfeln von Bergen, die sorgfältig für den Teleskopbau ausgewählt wurden und mitten im Nichts, abseits jeglicher Zivilisation, liegen. In sehr aufwendigen Expeditionen wird entschieden, ob man das Teleskop nun auf Berg A oder B bauen wird. Doch was sind die entscheidenden Kriterien?

Auf einem Gipfel wie dem Cerro Paranal in Chile oder dem Mauna Kea auf Hawaii hat man für gewöhnlich einen tollen 360-Grad-Rundumblick, also genau das, was man braucht, um den Nachthimmel in alle Richtungen zu beobachten. Und natürlich möchte man auch so oft wie möglich beobachten, denn die Teleskope kosten Geld. Die Zugspitze eignet sich deswegen nicht, weil der Gipfel an vielen Tagen im Jahr in einem dicken Wolkenmeer schwimmt. Es regnet, schneit oder die Sicht geht fast gegen Null.

Generell gibt es einige wenige Orte auf der Erde, an denen es kaum Wolken gibt und die atmosphärischen Bedingungen exzellent sind. Diese Orte muss man finden und deren Wettereigenschaften über Jahre hinweg beobachten. So haben sich in den letzten Jahrzehnten einige Standorte auf der Erde herauskristallisiert, die sich hervorragend für unsere Beobachtungen eignen. Das Zusammenspiel von Meeresströmungen mit den Besonderheiten der geographischen Standorte führen zu einer ungewöhnlich stabilen und gut vorhersagbaren Wetterlage und machen diese Orte zu den *prime spots* für den Teleskopbau.

Warum sind diese Orte so wichtig? Ein entscheidender Grund ist die Lichtverschmutzung. Haben Sie schon mal versucht, bei Nacht in Frankfurt, München oder Berlin den Großen Wagen oder das Sternbild Cassiopeia zu beobachten? Keine Chance. Die Lichter, Leuchtreklamen und Straßenlaternen sind schuld daran. In Städten ist es nie dunkel. Wir in Europa wissen aufgrund der konstanten Beleuchtung fast gar nicht mehr, was echte Dunkelheit ist. Selbst in scheinbar einsamen Dörfern im tiefen Herzen von Bayern ist die Lichtverschmutzung nicht vernachlässigbar.

Um jedoch Galaxien zu beobachten, die mehrere Milliarden Lichtjahre entfernt sind, muss es richtig dunkel sein. Selbst das Licht einer einfachen Taschenlampe stört dabei. Also sucht man sich Orte, die fernab jeglicher Zivilisation liegen, wie zum Beispiel Orte in der chilenischen Atacamawüste.

Dementsprechend einsam kann die Arbeit an so einem Teleskop sein. Es gibt im Umkreis von hunderten Kilometern keine Städte, man kann abends nicht mal spontan in eine Bar gehen oder Freunde treffen. Immerhin ist man von Kolleginnen und Kollegen und Personal am Observatorium umgeben, mit denen man zusammenarbeitet, isst, und nicht selten zusammensitzt und eine Cola oder einen



misst ein
Hauptspiegel
der VLT-Teleskope
im Durchmesser

Kaffee trinkt. Alkoholische Getränke sind in den meisten Observatorien jedoch nicht erlaubt, koffeinhaltige dafür umso beliebter. Nicht selten kommt dabei das Gefühl von einem Sommercamp auf: wenig Schlaf, viele Aufgaben und immer die gleichen Leute. Gefangen in der Wüste eben.

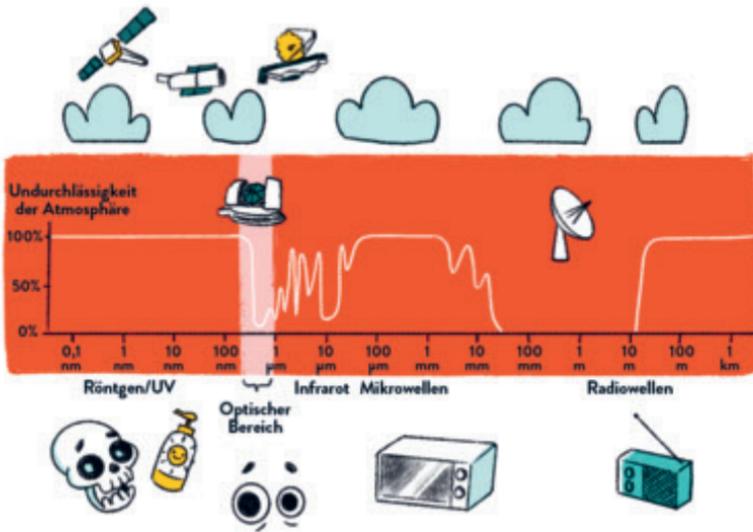
Regenbogen 2.0

Neben „optischen“ Teleskopen, die das Licht beobachten, das wir auch mit unseren Augen sehen können, werden Teleskope und Satelliten gebaut, die Infrarotlicht, Radio-, UV-, Röntgen- und Gammastrahlung beobachten können. All diese „Lichtarten“ stellen verschiedene Abschnitte des elektromagnetischen Spektrums dar. Dabei unterscheiden sie sich darin, wie lang- bzw. kurzwellig die jeweilige Strahlung ist. Je kurzwelliger, desto energiereicher und gefährlicher ist sie für uns Menschen.

Deswegen müssen Sie bei einer Röntgenaufnahme einen dicken Bleimantel anziehen, damit wirklich nur der zu untersuchende Körperteil die Strahlung abbekommt. Und außerdem cremen Sie sich aus diesem Grund im Sommer hoffentlich immer gewissenhaft mit Sonnencreme ein, um Ihre Haut vor der UV-Strahlung der Sonne zu schützen.

Radiostrahlung wiederum ist sehr langwellig und somit energiearm. Eine Radiowelle kann mehrere Zentimeter oder sogar Meter lang sein, weshalb sich Radiowellen außerordentlich gut eignen, um Informationen risikofrei über weite Strecken zu übermitteln.

Teleskope können, je nach Bauart und Standort, Licht dieser verschiedenen Wellenlängen erfassen. Nur wenn man all diese Informationen über verschiedene Wellenlängen hinweg miteinander kombiniert, kann man sich ein vollständiges Bild von einem Objekt machen. Das rührt ganz einfach daher, dass verschiedene physikalische Prozesse zur Emission von Strahlung bei unterschiedlichen Wellenlängen führen.



Das elektromagnetische Spektrum reicht vom kurzwelligen Röntgen- bis zum langwelligen Radiobereich.

Sterne etwa senden ihr Licht hauptsächlich im sichtbaren Bereich aus. Unsere Sonne zum Beispiel ist ein Stern mit einer Oberflächentemperatur von ungefähr 6000 Grad Celsius. Der Großteil ihrer Lichtemission befindet sich im Optischen. Nicht zufällig sind unsere menschlichen Augen in genau diesem Bereich am empfindlichsten auf das Sonnenlicht abgestimmt. Warmer Staub in Galaxien hingegen emittiert vor allem im Infraroten, heißes Gas im Röntgenbereich. Mit „warm“ werden hier Temperaturen von rund -240 Grad Celsius und mit „heiß“ Temperaturen von fast 100.000 Grad Celsius bezeichnet. Die Bedingungen in Galaxien sind extrem. Wenn wir nun also verstehen wollen, wie Staub, Gas und Sterne in einer Galaxie miteinander wechselwirken, müssen wir diese Galaxie sowohl mit einem Röntgensatelliten, einem optischen Teleskop als auch mit einem Infrarotteleskop beobachten.

Analog zu Phänomenen, die wir aus unserem Alltag kennen, können wir uns folgende Situation vorstellen: Sicherlich musste bei Ihnen schon einmal eine Röntgenaufnahme gemacht werden, vielleicht beim Zahnarzt oder weil Sie sich den Arm gebrochen ha-

ben. Dank der Röntgentechnologie wissen wir, wie unser Skelett aufgebaut ist, sodass wir also etwas sehen, was man eigentlich nicht sehen kann.

Vielleicht haben Sie aber auch schon mal in einem Museum oder auf einem Science Festival vor einer Infrarotkamera gestanden. Auf Ihrem Infrarotbild kann man erkennen, dass Nasen- und Fingerspitzen kälter sind als der Rumpf. Mithilfe solcher Infrarotaufnahmen wird sogar nach Menschen gesucht, die nach einem Unglück

unter Gebäudetrümmern verschüttet wurden. Der menschliche Körper ist mit 37 Grad Celsius in der Regel wärmer als die Umgebung. Wieder sehen wir etwas, was wir eigentlich nicht sehen können.

Die Informationen des Röntgenbildes („das Handgelenk ist gebrochen“), der Infrarotkamera („die Fingerspitzen sind kalt“) und die des optischen Lichts („die Hand hat eine tiefe Narbe auf der Handfläche“) geben uns ein vollständigeres Bild unseres Körpers. Ganz ähnlich ist es mit astronomischen Objekten, denn je mehr Daten unterschiedlicher Wellenlängen vorhanden sind, desto besser können wir das All verstehen.

Oftmals ist es allerdings gar nicht so einfach, all die Informationen in verschiedenen Wellenlängenbereichen zu sammeln. Denn bei uns auf der Erde können wir nicht alle Strahlungsarten detektieren. Die Atmosphäre und das Erdmagnetfeld schützen uns vor zu hochenergetischer Röntgen- und Gammastrahlung und auch, bis zu einem gewissen Grad, vor aggressiver UV-Strahlung. Cremen Sie sich trotzdem immer gut ein!



Am meisten strahlt die Sonne grünes Licht ab. Weil sie auch andere Farbanteile abstrahlt, wirkt sie auf uns gelblich-weiß.

Um diese Strahlungsarten zu beobachten, schicken wir Satelliten in den Weltraum, wo wir ungestört Röntgen-, UV- und auch Infrarotstrahlung beobachten können. Die bekanntesten Satelliten sind sicherlich das Hubble Space Telescope (HST), das im UV-, aber auch im optischen Bereich arbeitet, und sein Nachfolger, das James Webb Space Telescope, das am ersten Weihnachtsfeiertag 2021 seine Reise ins All startete und seit Mitte Juli 2022 atemberaubende Bilder des frühen Universums liefert. Dazu später mehr.

Große Superaugen

Ob groß oder klein, auf der Erde oder im All, die prinzipielle Funktionsweise von Teleskopen ist praktisch universell. Die großen Hauptspiegel der Teleskope wirken als Lichtfänger, die das Licht ferner Objekte zunächst mithilfe ausgeklügelter Spiegelanordnungen bündeln und in die Instrumente einspeisen. Als Instrumente werden die Kameras und Spektrographen bezeichnet, die uns dabei helfen, das Spiegellicht auszuwerten. Ähnlich wie bei unseren menschlichen Augen könnten wir jedoch mit den Informationen, die die Augenlinsen aufnehmen, nicht viel anfangen, wenn es auf unserer Netzhaut nicht die Stäbchen und Zapfen gäbe, die uns verraten, ob das Gras grün, gelb oder schon braun verbrannt ist. Mithilfe von Kameras und vorgeschalteten Filtern wird das Licht sodann in einem bestimmten Wellenlängenbereich gesammelt und auf eine Fläche projiziert. Diese Technik schenkt uns die wunderschönen Bilder, die wir oft in den Medien bewundern dürfen. Ein Spektrograph wiederum erlaubt es, das von den Spiegeln aufgesammelte Licht nach der Wellenlänge aufzuspalten. Genauso wie man mit einem Diamanten oder einem simplen Prisma einen „Mini-Regenbogen“ erzeugen kann, der das weiße Sonnenlicht in seine tatsächlichen spektralen Komponenten von Violettblau bis Orangerot zerlegt.

Mithilfe dieser Technik kann man nun die Strahlung im Detail analysieren. Zum Beispiel erkennt man in Spektren die „Fingerab-



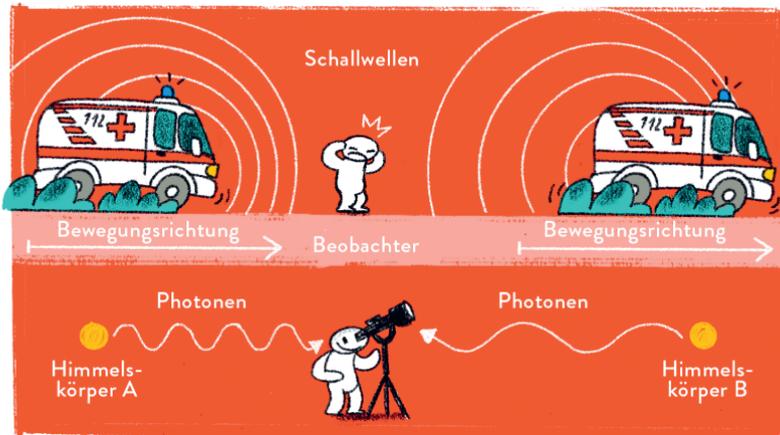
Ein Blick in die Kuppel am Very Large Telescope in Chile. Auf der Metallstruktur ist ein acht Meter großer Spiegel montiert. Mithilfe der sichtbaren Laser werden die astronomischen Beobachtungen verfeinert.

drücke“ von Sternen oder sogar von ganzen Galaxien. Welche chemischen Elemente in welcher Zusammensetzung in einem Objekt vorhanden sind, ist unverkennbar mit einem Spektrum verbunden. Wasserstoff etwa ist das mit Abstand häufigste Element in unserem Universum. Auch unsere Sonne besteht zum Großteil daraus. Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826) erkannte dunkle Linien im Spektrum der Sonne, die heute als Fraunhoferlinien bezeichnet werden. Dank Laborexperimenten wissen wir, dass viele dieser Linien entstehen, weil der Wasserstoff in der Sonnenatmosphäre das Licht bei ganz bestimmten Wellenlängen absorbiert. Man sagt, Wasserstoff hat einen unverwechselbaren Fingerabdruck. Das Gleiche gilt für andere Elemente.

So kann man messen, welche und wie viele Elemente in astronomischen Objekten vorhanden sind, ähnlich wie bei einem Stück Kuchen, bei dem man schon aus einem kleinen Bissen genau herausgeschmecken kann, ob er mit Haselnüssen, Orangenextrakt oder Zimt gebacken wurde. Wir entschlüsseln mithilfe der sogenannten Spektralanalyse die Zutaten der Sterne und Galaxien.

Doch es kommt noch verrückter, denn Spektren können uns noch weitaus mehr Informationen liefern. Die Spektrallinien geben uns sogar Aufschluss darüber, wie schnell und in welche Richtung sich Gas und Sterne bewegen. Haben Sie schon einmal einen Krankenwagen gehört, der sich schnell auf Sie zubewegt? Die Sirene klingt zuerst sehr hoch, bis der Krankenwagen an Ihnen vorbeisaust. Wenn sich das Fahrzeug jedoch von Ihnen entfernt, klingt der Ton tiefer. Das liegt daran, dass die Frequenz bei sich annähernden Objekten höher ist und bei sich entfernenden Objekten niedriger wird. Diesen bekannten Effekt nennt man *Dopplereffekt*, benannt nach dem Physiker Christian Doppler (1803–1853).

Analog lässt sich der Dopplereffekt auch auf astronomische Objekte anwenden. Wenn sich Gas oder Sterne in einer Galaxie auf uns zubewegen – beispielsweise, weil die Gasscheibe der Galaxie rotiert –, wird ihr Licht zu leicht kürzeren Wellenlängen verschoben.



Ein Krankenwagen mit Martinshorn veranschaulicht den Dopplereffekt: Kommt er auf uns zu, ist die gehörte Frequenz größer und klingt höher, fährt der Krankenwagen von uns weg, wird die gehörte Frequenz kleiner und klingt tiefer.

Wenn sich das Gas hingegen von uns wegbewegt, wird sein Licht zu längeren Wellenlängen verschoben. Diesen Effekt kann man messen und so die Rotationsgeschwindigkeit des Gases und der stellaren Scheibe in einer Galaxie bestimmen.

Ein Reisebericht

Geschwindigkeiten von Sternen sollte ich vor einigen Jahren selbst am Lick-Observatorium messen. Das Lick-Observatorium ist eine kleine Sternwarte, die sich in der Sierra Nevada in Kalifornien befindet. Es ist ein relativ altes und kleines Observatorium, dessen Ursprünge sogar bis ins 19. Jahrhundert zurückgehen. Die Arbeit an kleineren Teleskopen, bei denen keine riesige Infrastruktur zur Verfügung steht und wo teilweise nur eine Handvoll Menschen gleich-

zeitig am Teleskop arbeiten, sieht anders aus als an Großobservatorien. Ganz im Gegenteil läuft am Lick noch vieles händisch.

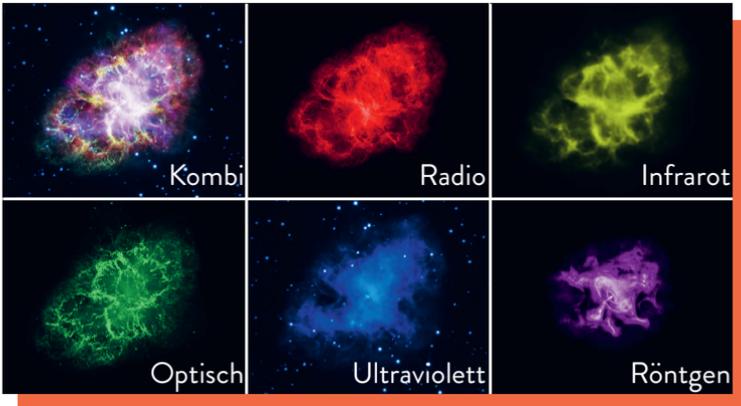
Aufgeteilt auf drei Reisen von jeweils sieben bis zehn Tagen verbrachte ich als Studentin die Zeit weitestgehend allein mit dem Teleskop, zum Teil tagelang, ohne eine Menschenseele zu treffen (bzw. nächtelang, denn ich schlief ja tagsüber). Angekommen am Flughafen in Los Angeles musste ich zunächst mein Mietauto abholen und mich dann auf die mehrstündige Fahrt zum Mount Hamilton begeben. Dabei durfte ich nicht vergessen, im letzten Ort vor dem Berg meinen gesamten Wocheneinkauf zu tätigen, denn anders als an manchen Großteleskopen gibt es dort keine Kantine, Selbstversorgung ist stattdessen angesagt.

Ausgestattet mit viel Wasser, Obst, Toast, Oatmeal und Peanut Butter, trat ich also die lange Strecke zum Gipfel des Mount Hamilton an. Die Serpentinstraße ist sicherlich nichts für Menschen mit empfindlichen Mägen.

Angekommen am Observatorium galt es zu zeigen, dass man eine wahre Astronomin ist, denn der Code des Zahlenschlosses zum Schlafräum und zum Teleskop war die Wellenlänge der sogenannten H β -Emissionslinie des Wasserstoffes. Nur mit dieser Kenntnis konnte man die Gebäude betreten. Wenn man tagsüber Glück hatte, traf man vielleicht den einen oder anderen Techniker, war ansonsten aber sich selbst und seinen Gedanken überlassen.

Darüber hinaus war ich als junge Studentin, die gerade ihr Bachelorstudium abgeschlossen hatte, plötzlich allein verantwortlich für ein riesiges Teleskop, die Wartung zu Beginn und am Ende der Beobachtungsnacht inklusive. Dazu gehörten zum Beispiel das Öffnen und Schließen der Kuppel oder das Befüllen des Spektrographen mit kaltem, flüssigem Stickstoff. Dass man das nicht unbedingt mit Sandalen machen sollte, erzählt einem in drei Jahren Physikstudium niemand ...

Die Nächte fühlten sich lang an. Von abends bis morgens um sechs saß ich allein im Kontrollraum, geschätzte acht Quadratme-



Verschiedene Wellenlängenbereiche geben unterschiedliche Informationen über ein Objekt: Hier wurde der Krebsnebel mit 5 Teleskopen beobachtet, die Daten wurden zuletzt zu einem Bild zusammengefügt.

ter. Ausgestattet war ich mit Kaffee, jeder Menge Snacks und extrem lauter Musik. Einsam wurde es dennoch nach ein paar Tagen.

Es ist nicht so, dass man die ganze Nacht im Kontrollraum sitzt und dabei ein Buch lesen könnte. Volle Konzentration ist gefragt, denn ständig stellt man die Koordinaten der Objekte neu ein, verifiziert, dass das jeweilige Objekt noch im Sichtfeld liegt und überprüft, ob die Datenqualität stimmt. Dabei hat man ständig den Wetterradar im Blick. Denn wenn die Luftfeuchtigkeit zu hoch wird, kann das dem Teleskop schaden, man muss abrechen und die Kuppel wieder schließen.

Ab und zu gibt es einen Moment, wo man weiß: „Okay, das Teleskop macht jetzt ohne mein Zutun automatisch seine Arbeit“. Dann hat man mal 15 Minuten Pause, um nach draußen an die frische Luft zu gehen. Raus aus dem Kontrollraum, in die Kälte der Nacht. Man nimmt einen tiefen Atemzug, tankt Sauerstoff und wird völ-

lig überwältigt vom Nachthimmel. Tausende Sterne leuchten einem dort entgegen. Eine schier unbegreifliche Weite. Bei diesem Anblick wird man daran erinnert, was man eigentlich macht und wie privilegiert man ist, mit einem professionellen Teleskop die uns verborgenen Welten zu beobachten. Gefangen in der Wüste im Namen der Menschheit: um zu verstehen.

Das Kapitel in Kürze:

- › Astronominen und Astronomen benutzen Teleskope und Weltraumsatelliten, um Objekte im Weltall zu beobachten. Diese Teleskope funktionieren wie große Augen, die in verschiedenen Wellenlängenbereichen sehr lichtschwache Objekte sehen können.
 - › Teleskope stehen oft an dunklen, einsamen Orten, an denen es kaum regnet, wie z. B. in der Atacamawüste in Chile, wo die Beobachtungsbedingungen optimal sind.
 - › Licht kann sehr verschieden erscheinen, angefangen von Röntgen- und UV-Strahlung über den sichtbaren Bereich bis hin zu Infrarot- und Radiostrahlung. Unterschiedliche Teleskope sind für bestimmte Bereiche ausgelegt und liefern Informationen, die sich gegenseitig ergänzen.
 - › Kameras und Spektrographen liefern uns Bilder bzw. Spektren der beobachteten Objekte. Spektren können viele Informationen über die Zusammensetzung und Kinematik der Objekte liefern.
-